

**ANÁLISIS DE UN PILOTO DE BIOGÁS DOMÉSTICO EN ZONAS RURALES DEL MUNICIPIO DE  
JERUSALÉN CUNDINAMARCA**



**NICOLLE STEPHANY AVILA ZUBIETA**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

**ESPECIALISTA EN PLANEACION AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES**

Director:

Ximena Lucia Pedraza Najar

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PROGRAMA ESPECIALIZACION EN PLANEACION AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS  
RECURSOS NATURALES**

**BOGOTÁ, 7 DE DICIMEBRE DE 2018**

# ANÁLISIS DE UN PILOTO DE BIOGÁS DOMÉSTICO EN ZONAS RURALES DEL MUNICIPIO DE JERUSALÉN CUNDINAMARCA

## ANALYSIS OF A DOMESTIC BIOGAS PILOT IN RURAL AREAS OF THE MUNICIPALITY OF JERUSALÉN CUNDINAMARCA

Nicolle Stephany Avila Zubieta  
Ingeniera Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Militar Nueva Granda  
Bogotá D.C Colombia  
U2700773@unimiliar.edu.co

### RESUMEN

Este documento es un análisis del diseño, implementación y seguimiento a un piloto de biogás doméstico que se instaló en el municipio de Jerusalén Cundinamarca, con apoyo de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, dentro del Plan de Acción 2016-2019, enmarcado en el proyecto 21: *“programa integral de eco sostenibilidad municipal, con énfasis en energías alternativas”*. Se plantea un diseño de la alternativa y se hace un recorrido desde su diseño hasta su implementación con el fin de poder ver los beneficios de estas alternativas, tanto a nivel técnico, como desde su impacto a la comunidad; también se realiza una revisión teórica sobre el biogás, para entender los conceptos y su obtención. Este artículo busca hacer una aproximación a los conceptos de biogás y eco sostenibilidad, brindando un primer acercamiento a la implementación de una alternativa para zonas rurales que no cuenten con una red de gas y que buscan implementar alternativas amigables con el medio ambiente, ya que permite el aprovechamiento de desechos orgánicos, obteniendo no solo biogás que se usa como energético en las unidades de vivienda eco sostenibles, sino también generando abono orgánico que permite la recuperación de suelos. A partir de la promoción de este tipo de alternativas también se busca reducir los obstáculos que se presentan, y se van a discutir a lo largo del documento.

**Palabras clave:** biodigestor, biogás, biomasa, eco sostenible, energías alternativas, gas, medio ambiente, residuos orgánicos, rural.

## ABSTRACT

This document is an analysis of the design, implementation and monitoring of a pilot of domestic biogas that was installed in the municipality of Jerusalén Cundinamarca, with support from the Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, within the Action Plan 2016-2019, framed in the project 21: "comprehensive municipal eco-sustainability program, with emphasis on alternative energies". A design of the alternative is proposed and a journey is made from its design to its implementation in order to see the benefits of these alternatives, both at a technical level and from its impact on the community; a theoretical review of biogas is also carried out to understand the concepts and their obtaining. This article seeks to approach the concepts of biogas and eco sustainability, providing a first approach to the implementation of an alternative for rural areas that do not have a gas network and that seek to implement environmentally friendly alternatives, since it allows the use of organic waste, obtaining not only biogas that is used as energy in the eco sustainable housing units, but also generating organic fertilizer that allows soil recovery. From the promotion of this type of alternatives it is also sought to reduce the obstacles that are presented, and they will be discussed throughout the document.

**Keywords:** bio digester, biogas, biomass, sustainable, alternative energy, gas, environment, organic waste, rural.

## INTRODUCCIÓN

El uso de la energía renovable tiene un valor añadido en términos de protección del medio ambiente, el cambio climático y por ende en la calidad de vida de las personas. Por ejemplo, las emisiones y la dependencia de los combustibles fósiles se pueden reducir, contribuyendo a la descentralización de uso de energías y generando más opciones para las comunidades alejadas; permitiendo integrar los sistemas centrales en las grandes ciudades, pero sin dejar a un lado a las comunidades de zonas aisladas. Sin embargo, la expansión de las energías renovables también plantea nuevos retos para la expansión y operación de la red de suministro existentes, ya que son relativamente nuevas en el mercado y requieren de una mayor difusión e investigación. Para el estudio de energías alternativas se parte de un concepto más sencillo el de unidad sostenible.

Se debe tener una primera definición de unidad eco sostenible de vivienda, teniendo en cuenta los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU<sup>[1]</sup> y la definición de ciudad sostenible<sup>[2]</sup>, se va a adaptar estos criterios a una unidad de vivienda eco sostenible, la cual de ahora en adelante hará referencia a la vivienda o espacio donde se realice el proyecto; para tal caso se va a entender como aquel espacio habitacional que ofrece una alta calidad de vida a sus habitantes, de acuerdo a accesibilidad de servicios básicos y confort en el hogar; también se deben tener en cuenta factores como la reducción de impactos sobre el medio ambiente y que cuente con el apoyo de entidades locales gubernamentales, para mantener estrategias que permitan la implementación de nuevas tecnologías.

Teniendo en cuenta este primer concepto, una unidad eco sostenible de vivienda debe sobresalir en tres dimensiones principales: una dimensión de sostenibilidad ambiental y cambio climático, una dimensión social y una dimensión de sostenibilidad económica; y se debe apoyar en unidades de: desarrollo urbano sostenible, sostenibilidad fiscal y gobernabilidad, que se traducen en mayor conectividad, fortalecimiento institucional y planificación tanto territorial como ambiental. (Figura1).



**Figura 1.** Unidad eco sostenible de vivienda  
**Fuente:** Elaboración propia

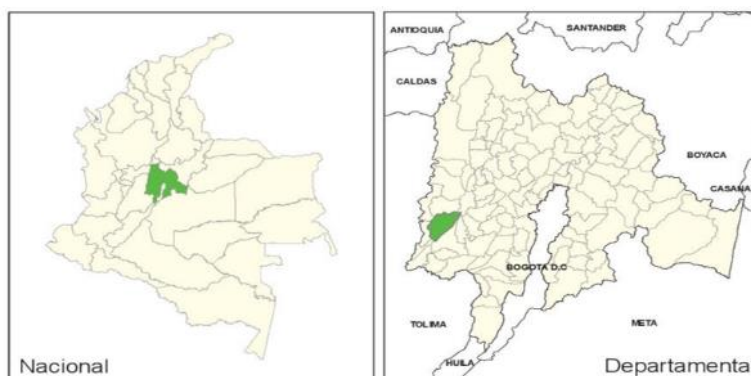
#### Modelo: la unidad eco sostenible de vivienda

La unidad eco sostenible de vivienda, sería aquella que se autoabasteciera energéticamente y que además no desaprovechara sus residuos, sino que los reutilizase como nuevas materias primas. Hay que llevar esta premisa todo lo lejos que se pueda: gestión de residuos, transporte más sostenible, mantenimiento de espacios verdes, gestión y uso de recursos naturales. Es una unidad que se construye a si misma de acuerdo a unos principios ecológicos, educadores y en igualdad.

Entre la variedad de fuentes de energía renovables y sus respectivas variantes, no existe ninguna recomendación de selección. Ya que, para tomar la decisión de utilizar energía eólica, energía solar, la biomasa, la energía hidroeléctrica, el flujo de las mareas, la geotérmica, o una combinación de éstas, se deben tener en cuenta las condiciones regionales y demandas de los consumidores, o en este caso las de la unidad productiva a estudiar, pues estas características son decisivas para tomar la mejor opción o combinación. En este caso veremos como la biomasa para la generación de energía está ligada con la energía solar y con la disponibilidad y tipo de material orgánico; la cual se puede convertir, ya sea termoquímicamente, físico-química o bioquímicamente en biogás, el cual puede ser usado directamente o tener otro subproceso. Una forma de transformación bioquímica es la fermentación anaeróbica para producir biogás.

Para este caso, se contó con información de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, la cual dentro de su Plan de Acción cuatrienal 2016-2019<sup>[3]</sup> plantea el PILAR 7 *“Apostando por un municipio eco sostenible: el cual busca ser uno de los proyectos bandera, en el cual se logrará la vinculación de importantes actores, con el fin de aunar esfuerzos para tener un municipio piloto en el que se pueda implementar un Programa integral de eco sostenibilidad municipal, con énfasis en energías alternativas.”*, que a su vez está enmarcado en el PROYECTO 21 *“Programa integral de eco sostenibilidad municipal, con énfasis en energías alternativas”*; *“Se busca generar una propuesta, en el que se recoja las alternativas tecnológicas en un municipio priorizado, para implementar un nuevo modelo energético y acometer acciones concretas que se podrán desarrollar en los próximos 4 años y que además se puedan replicar en total o parcialmente en otros municipios del Territorio CAR. El programa se centrará en tres sectores principales: la energía, los residuos, y el agua. Se establecerán propuestas destinadas al ahorro del recurso, y a los criterios de compra y contratación de tecnologías que reduzcan el impacto ambiental.”* y la META 21.1 *“Formular e implementar el cien por ciento (100%) del Programa Integral con energías alternativas y gestión ambiental sostenible en un municipio priorizado”*<sup>[4]</sup>.

El municipio de Jerusalén está ubicado en el Sur-occidente del Departamento de Cundinamarca, sobre la cordillera Oriental, en la provincia de Alto Magdalena. La extensión territorial es de 236 Km<sup>2</sup>, con una temperatura media de 32°C. El casco urbano se encuentra a 354 m.s.n.m. y a 113 Km de Bogotá. Las zonas de suelo rural están destinadas principalmente a producción agropecuaria. La agricultura, la ganadería y la minería son el motor económico del municipio<sup>[5]</sup>.



**Figura 2** Localización del Municipio de Jerusalén a nivel nacional y departamental.

**Fuente:** IGAC secretaria de obras publicas

La base económica del Municipio es netamente agropecuaria. La agricultura, la ganadería y la minería son el motor económico de Jerusalén. En el segundo semestre del año 2007, se observa un leve crecimiento en la actividad comercial y se inicia un proceso de actividad industrial dándole un valor agregado al procesamiento del maíz. En el año 2015 la exploración petrolera ha generado de manera temporal algunas fuentes de empleo<sup>[6]</sup>.

Las fuentes de empleo en la zona urbana se basan en las generadas por la agricultura, los entes municipales, el puesto de salud y el sector educativo. La actividad informal, los servicios, el transporte y las ventas callejeras conforman las demás fuentes de ingresos <sup>[7]</sup>.

La situación actual para las familias que viven en las zonas rurales sin suministro de gas, por lo general se ve que se usa la estufa de leña de una forma artesanal (ver Imagen 1); esto tiene efectos negativos en el medio ambiente y la salud de las personas que trabajan en los fogones, ya que no solo deben cortar árboles de la zona, sino que están expuestos a emisiones dañinas.



**Imagen 1.** Cocina típica de la región.

**Fuente:** Autor. Trabajo de campo reconocimiento de la zona.

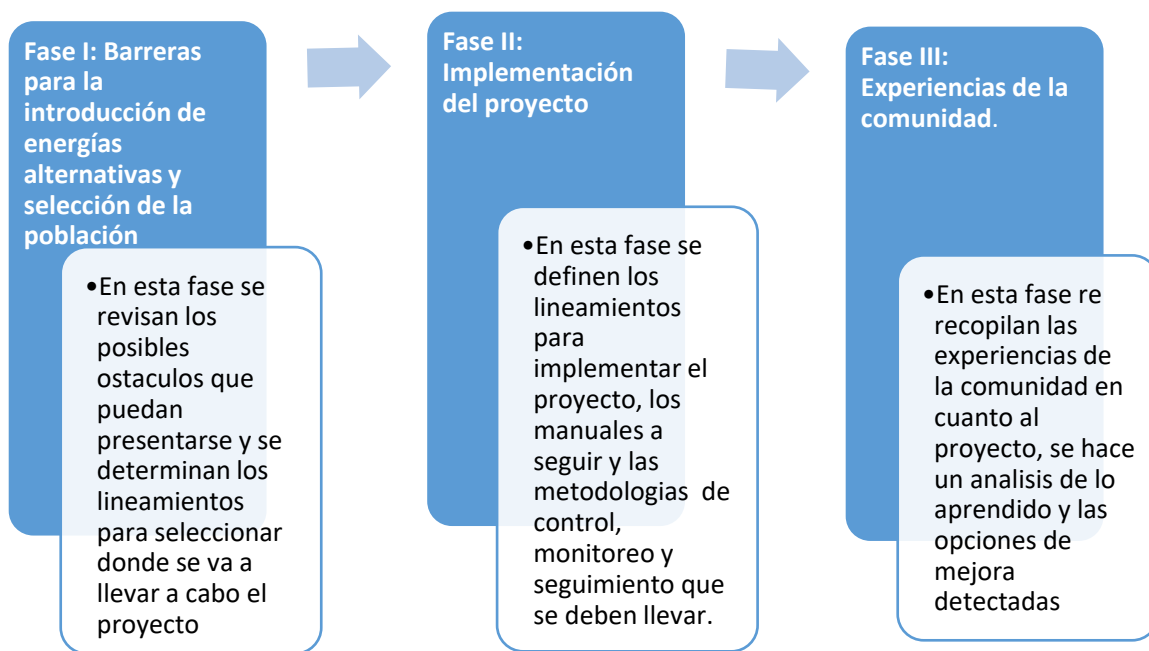
Para cambiar esta situación, se plantea sustituir la madera para cocinar por el biogás, ya que como se vio es una zona donde se puede encontrar la materia prima (estiércol bovino o porcino) y se cuenta con las condiciones climáticas y de altitud para este proceso.

## **I. MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la elaboración del presente artículo se manejó información secundaria, la cual es citada a lo largo del mismo. El desarrollo de la información presente es basado en la estructura de los lineamientos utilizados por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR para el desarrollo e implementación de todo el proyecto 21.

Adicionalmente, se realizó una revisión bibliográfica y un análisis investigativo en cuanto a la producción de biogás en pequeñas cantidades y para uso doméstico; se trabajó de la mano con la comunidad en la implementación y desarrollo de los pilotos y se siguieron las metodologías de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, para la apropiación de la tecnología.

Para la elaboración del proyecto se realizaron tres etapas, en donde se analizaron y definieron los lineamientos para llevar a cabo la implementación del proyecto de biogás, estas etapas comprenden tanto la parte teórica como práctica y de análisis de resultados, por tal motivo se realiza su descripción a continuación, y en la parte de análisis de resultados se profundiza en aquellas etapas de investigación y seguimiento.



**Grafico 1.** Fases para la implementación de un piloto de biogás.

**Fuente:** Elaboración propia.

### **Fase I: Barreras para la introducción de energías alternativas en la zona rural del municipio de Jerusalén y selección de la población beneficiada**

Para realizar el análisis del contenido del presente documento, primero se realizó una revisión de porque en el país el uso de energías alternativas se ha dificultado tanto y que barreras se pueden presentar para este tipo de proyectos; así mismo, se indago cuáles son los agravantes para la inclusión de estos proyectos en la zona seleccionada; y, se definieron los parámetros para la selección de la población con la cual se iba a iniciar el proyecto.

Teniendo en cuenta a Lutz (2003), en su artículo: *“Barreras a la penetración de los usos sostenibles de la energía”*<sup>[8]</sup> hace énfasis en las dificultades que se les presentan a las instituciones, empresas y organismos que desean trabajar las tecnologías limpias en el contexto Latinoamericano; a partir de este planteamiento se desarrolla el siguiente cuadro (figura 3) el cual permite ver cuáles son los problemas más notorios para la implementación de estas estrategias en municipios pequeños como es el caso de Jerusalén Cundinamarca. Estas barreras impiden que las energías renovables se desarrollen y puedan de alguna manera representar soluciones viables a largo plazo en diferentes zonas del país donde no se cuenta con el acceso a fuentes de energía convencionales ya sea por su topografía o por los altos costos que se generan.

Barreras para el Desarrollo de Energías Renovables.	
Barreras para aplicar tecnologías energéticas no convencionales en zonas rurales y en Colombia.	<b>Política:</b> Falta de políticas públicas Falta de voluntad política. Poca demanda social de estas energías. No inclusión en los planes energéticos nacionales
	<b>Económicas:</b> Costos de la instalación inicial. Recuperación del capital inicial a largo plazo. Tiempo de espera para la implementación y puesta en marcha elevados.
	<b>Financieras:</b> Dificultad para préstamos bancarios para este tipo de energía. No hay mecanismos estables de mercado para las partes de los biodigestores.
	<b>Técnicas:</b> No existe fabricación de las partes esenciales de los componentes básicos de los sistemas de biogás. Poca investigación de este tipo de energía por parte de universidades e instituciones privadas o estatales. Condiciones climáticas variables, accesibilidad a las zonas.

**Figura 3.** Barreras para el desarrollo de Energía Renovable.

**Fuente:** El autor. Adaptado. Eficiencia energética en América Latina <sup>[9]</sup>.

En la barrera política, generalmente se le atribuye al desconocimiento de las energías renovables, a la falta de políticas públicas o al poco interés para desarrollarlas por su bajo impacto en la población; sin embargo, se debe tener en cuenta que los recursos energéticos se agotan, las facturas de los servicios públicos crecen, se presenta el calentamiento global. Esta barrera puede convertirse en una oportunidad política. Adicionalmente, no se cuenta con una política de inclusión o protección a este tipo de proyectos, dificultando aún más su desarrollo; no existe una normativa general para la implementación y manipulación del biogás.

Las energías renovables como el biogás, presentan un impacto económico. La energía proveniente del biogás tiene un costo de inversión de recuperación a largo plazo: según la Comisión Económica para América Latina CEPAL (2003)<sup>[10]</sup>, la relación con las pequeñas distribuidoras de gas propano, el que se utiliza en zonas desconectadas a la red, es de uno a siete, es decir, por cada metro cubico de biogás el costo de inversión es de siete dólares, unos \$21.000 pesos colombianos, pero en el momento de estabilizar el biodigestor estos costos disminuyen, incluso siendo nulos, pues el biodigestor comienza a funcionar de manera integrada con los desechos de la unidad eco sostenible de vivienda

Las barreras financieras no presentan un futuro prometedor; los bancos, dentro de su política capitalista difícilmente crearían fuentes alternativas de créditos blandos, o proyecciones sociales asociadas con la energía renovable como el biogás, esto se debe sobre todo a que no genera un beneficio económico visto en una retribución, sino en un ahorro para los que implementen estas estrategias.



Las barreras técnicas se ven comprometidas con la falta de investigación, adaptación y transferencia de las tecnologías asociadas al biogás. No se cuenta con investigaciones detalladas, y aunque, existen proyectos ya funcionando no se lleva un seguimiento, ni se cuenta con la información o investigación suficiente, pues son proyectos empíricos y muy rudimentarios.

Es así que el problema a nivel nacional repercute a una mayor escala a nivel regional, pues los municipios no cuentan con recursos para investigación y desarrollo de proyectos; mucho menos con personas que tengan los conocimientos sobre biogás o como llevar a cabo estas iniciativas; la falta de recursos, educación, y los problemas de accesibilidad dificultan la implementación de estrategias como el biogás en zonas rurales.

Para determinar la población con la que se iniciaría el proyecto se realizó un primer acercamiento con los entes gubernamentales del municipio de Jerusalén, quienes mostraron su interés y apoyo a este tipo de iniciativas, y así poder superar algunas de las barreras ya nombradas, este punto se discute más adelante; siguiendo con la implementación del proyecto se definieron unos lineamientos con base a la metodología de apropiación de la tecnología planteada por la corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, los cuales se resumen en el siguiente cuadro.

**Tabla 1.** Parámetros para la evaluación de la población beneficiada para piloto de biogás.

FAM ILIA	INT EG RA NT ES	GE NE RO	RAN GO DE EDA D	NIVE L DE ESC OLA RIDA D	ACC ESIB ILID AD	ZONA	TIPO DE COCINA	ACTIVI DAD ECONO MICA DE LA VIVIEN DA	ACTIVI DAD GANAD ERA O PECUA RIA	FACILIDA D PARA EL ACCESO A MATERIA ORGANI CA
Esta sección permite identificar a la familia, conocer a sus integrantes, también se evalúan aspectos como nivel educativo y género.					Se debe identificar las limitaciones de la vivienda, la zona en la que se encuentra, si usa gas propano, leña u otro tipo de energético para cocinar.			Las actividades que se realicen en la vivienda así como la accesibilidad a la materia orgánica se deben definir ya que afectan al desarrollo del proyecto.		

**Fuente:** Autor Adaptado de Metodología para la apropiación de la tecnología<sup>[11]</sup>.

Como se ve en el cuadro 1, para la implementación de un proyecto de biogás se deben identificar factores sociales, culturales, económicos y del entorno, pues la unidad productiva eco sostenible se ve afectada por estos aspectos y así mismo se verán reflejados en el desarrollo del piloto de biogás. De acuerdo a la metodología de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, para la apropiación de la tecnología<sup>[12]</sup>, es importante reconocer el tipo de población, pues así mismo se direcciona la estrategia para la implementación de estos proyectos, no puede ser una limitante el nivel educativo ya que se cuentan con

métodos de acuerdo a cada individuo; el éxito de la implementación de un proyecto de biogás depende de la metodología que se siga.

## **Fase II: Implementación del proyecto**

Se recopiló la información asociada a la implementación del proyecto adelantado por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, en el desarrollo del pilar 7 y la meta 21, sus antecedentes y avances logrados hasta el momento, en especial se revisó el proceso de implementación y lo planeado en el plan de manejo y seguimiento.

A partir de la información recolectada en las demás fases es posible establecer las recomendaciones para la implementación y seguimiento de proyectos similares de biogás e implementación de otros pilotos en diferentes zonas del país.

La producción de biogás por descomposición anaeróbica es un modo considerado útil para tratar residuos biodegradables, ya que produce un combustible, además de generar un residuo que puede aplicarse como acondicionador de suelo o abono genérico. Estos beneficios pueden ser utilizados en la unidad eco sostenible de vivienda, pues, como se ha visto en este artículo, en zonas rurales es difícil el acceso a combustibles energéticos; además los beneficios obtenidos en el uso de abonos orgánicos son más notorios en estas zonas.

Para la implementación del proyecto de biogás, se realizaron una serie de capacitaciones con la población, y así dar a conocer el sistema de funcionamiento y principios básicos del biogás, pues de acuerdo a la metodología de apropiación de la tecnología, se deben dar a conocer estos elementos a la comunidad; a continuación se recopilan los aspectos más importantes del biogás y la construcción del biodigestor.

El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos controlados, como un biodigestor, de forma biológica, de ahí su nombre biogás, producto de las reacciones de biodegradación de la materia orgánica o biomasa que se alimenta el biodigestor, mediante la acción de microorganismos y otros factores, como temperatura, presión, entre otros, y, sobre todo en ausencia de oxígeno. Este proceso químico genera diferentes compuestos los cuales se pueden ver en la tabla 2; la concentración de cada gas va a depender del tipo de materia orgánica o biomasa con la que se alimente el biodigestor.

**Tabla 2.**Concentracion de gases en una muestra de biogás

GAS PRESENTE EN BIOGAS	FORMULA QUIMICA	CONCENTRACION
Metano	CH <sub>4</sub>	50%-70%
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	30%-40%
OTROS GASES		<5%

**Fuente:** Autor adaptado de La digestión anaerobia y el compostaje<sup>[13]</sup>.

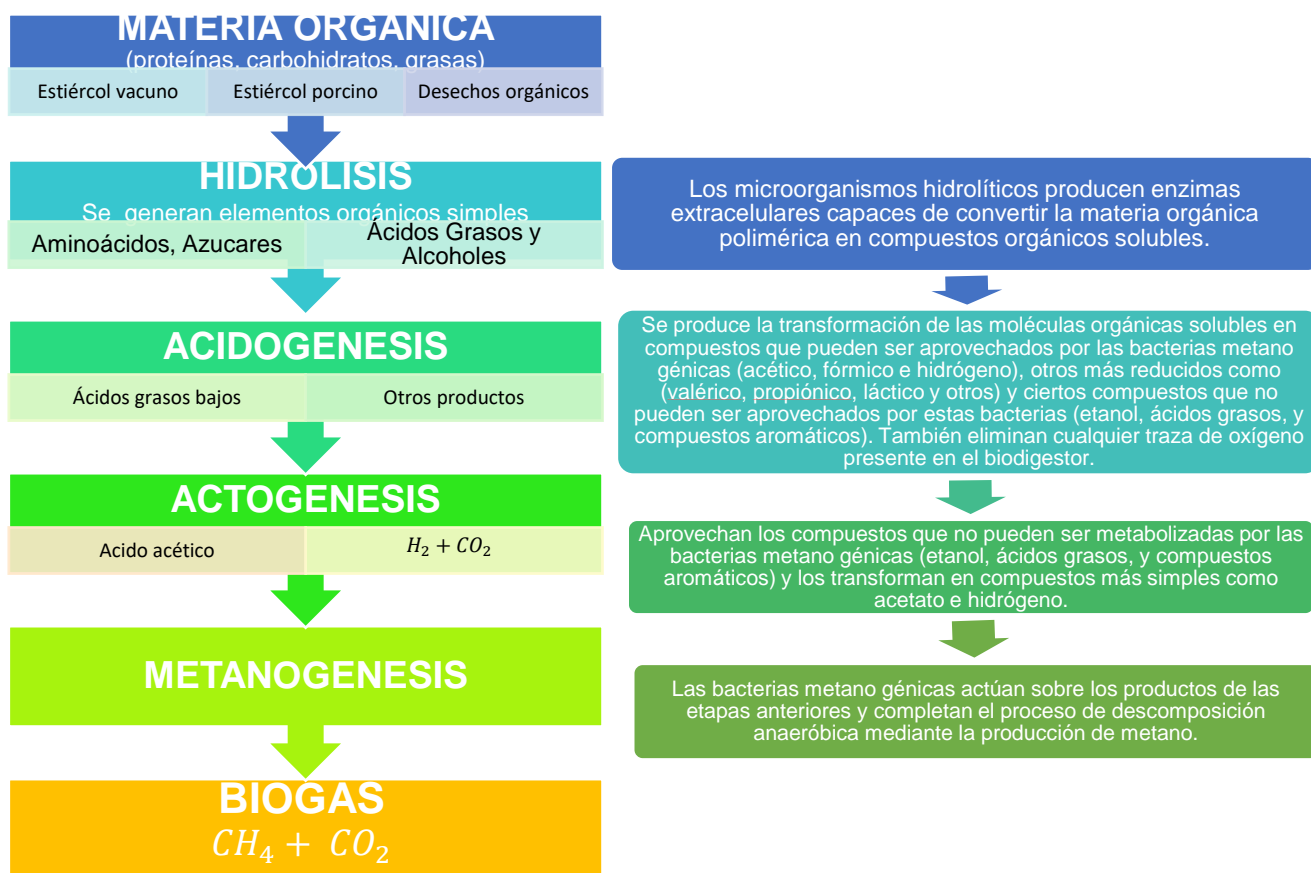
De acuerdo a estas concentraciones el biogás se puede utilizar en las unidades de vivienda eco sostenibles en sistemas de combustión a gas, como estufas o lámparas, entre otros elementos, debidamente adaptados a este gas, pues tiene una menor presión y concentraciones menores a las presentes en el gas propano, y es por esto que requiere de elementos especiales para su uso.



**Imagen 2.** Estufa usada en el proyecto de biogás domestico

**Fuente:** Autor. Guía para el montaje de biodigestor Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR.

El biogás se produce a partir de biomasa, la cual debe tener un bajo contenido celulosico y ligninico, es por esto que el biodigestor no debe ser alimentado con hojas de papel, hojas de árboles, cascaras de cítricos, pepas o semillas ni tallos de frutas o verduras como el de la mazorca. El proceso de fermentación se realiza por micro bacterias, las cuales transforman la biomasa en cuatro pasos o fases, las cuales se pueden ver mejor en la figura 4; produciendo dos tipos de residuos o lixiviados, uno líquido y otro sólido, los cuales pueden ser utilizados como fertilizante; con el beneficio que el lixiviado liquido ayuda a ahorrar agua en los procesos de riego.



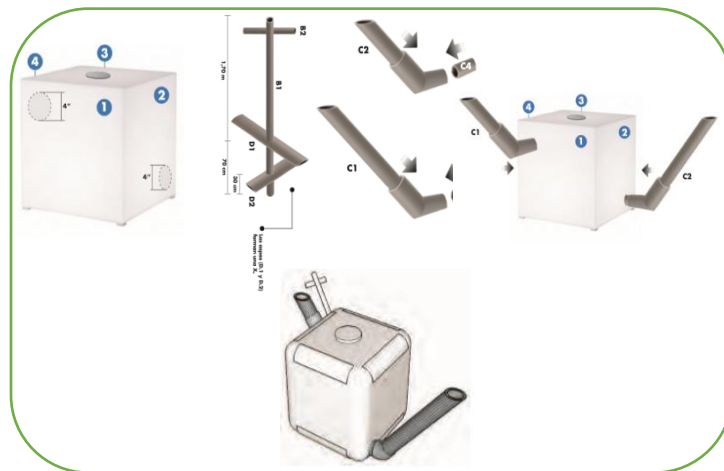
**Figura 4.** Fases de la producción de biogás  
Fuente: Autor adaptado de Guía sobre biogás. <sup>[14]</sup>

Como se puede en la figura anterior, el proceso de producción de biogás se divide en cuatro etapas; esto ha sido demostrado a través de varios estudios realizados hasta la actualidad; este es un proceso estructurado, en el cual se evidencian unas etapas principales, donde actúan diferentes microorganismos, todo este proceso se lleva dentro del biodigestor y se puede ver afectado por factores externos, por eso es importante tener un monitoreo de factores como la temperatura tanto ambiental como interna, pH, composición de la biomasa con la que se alimenta y su tamaño, entre otros. Es de resaltar que el 70% del metano producido en un biodigestor es producto del proceso de descarbolixación del ácido acetilico, pues solo dos tipos de bacterias generan este compuesto, por tal motivo es importante monitorear las condiciones químicas si es que se llega a ver una disminución de la producción de biogás, pero esto se profundiza en los manuales de operación, monitoreo y seguimiento <sup>[15]</sup> con los que cuenta la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR.

Un biodigestor domestico es un sistema controlado donde se deposita materia orgánica, para que a través del proceso descrito anteriormente se genere biogás y abono orgánico. Para construir el biodigestor se requiere de un recipiente o tanque de almacenamiento donde se va a depositar la materia orgánica, el cual debe estar cerrado, no debe presentar fugas, ni se debe exponer a altas temperaturas,

para el manejo del biodigestor se debe tener un espacio designado que no genere un riesgo por fugas o derrames y que sea de fácil acceso para su alimentación y mantenimiento.

Las partes básicas para la construcción de un biodigestor son un tanque de almacenamiento de materia orgánica, un agitador para este tanque, mangueras de conexión y en algunos casos se puede tener un tanque de almacenamiento de gas; para la realización del proyecto se consideró manejar un tanque separado para almacenar el gas ya que se espera tener una alta producción.

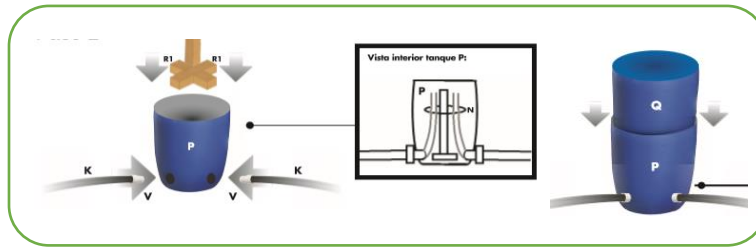


**Figura 5.** Montaje tanque de almacenamiento materia orgánica.

**Fuente:** Autor. Adaptado de la Guía práctica para la construcción de biodigestores. <sup>[16]</sup>

El tanque de almacenamiento de biomasa está compuesto por un tanque cubico de un metro cubico, como se ve en la figura 5, se requiere realizar cuatro aperturas, las cuales se muestran mejor en la guía práctica para lo construcción de biodigestores de la Corporación Autónoma /regional de Cundinamarca CAR <sup>[17]</sup>. Para realizar la entrada y la salida, partes por donde se alienta el biodigestor se usa tuvo de PVC, la entrada va a estar ubicada en la parte 1 de acuerdo a la figura de referencia, mientras que la salida estará en la parte baja, estos dos orificios deben estar enfrentados y en diagonal es decir uno en la parte superior del tanque y el otro en la parte inferior de la cara opuesta. Para el agitador se requiere realizar una estructura que tenga dos asas, las cuales van a estar dentro del tanque, estas asas deben formar un ángulo de 90°, para garantizar que se agita la materia orgánica de manera uniforme.

Para la construcción del tanque de almacenamiento de gas se usa una caneca más pequeña, se debe realizar una estructura que dará soporte a las mangueras y a la parte de cierre de este tanque, esta caneca se debe llenar de agua para generar un cierre hermético, permitiendo que el biogás generado se mantenga en este tanque y no retorne al de almacenamiento de materia orgánica; los pasos para su elaboración se pueden ver en la figura 6.



**Figura 6** Montaje tanque de almacenamiento biogás

**Fuente:** Autor. Adaptado de la Guía práctica para la construcción de biodigestores.

Como se puede ver el montaje de los tanques es relativamente sencillo, se pueden usar elementos de la zona para reducir los costos siempre y cuando se cumplan con las recomendaciones de seguridad.

El montaje final se puede ver en la figura 7, para la instalación final el tanque de almacenamiento debe tener una inclinación hacia el tubo de salida, se debe realizar el llenado del biodigestor de tal forma que se tape el tubo de entrada pero que permita una zona donde se genere el gas; las mangueras, tubos de entrada a y salida y el agitador se deben reforzar con plástico en el momento del ensamblaje, es importante que las piezas entren a presión, para garantizar el cierre hermético y evitar fugas; en cuanto al tanque de almacenamiento de gas, la manguera que proviene del tanque de materia orgánica se deja por debajo del nivel del agua, mientras que la manguera que va a conectar el sistema con la estufa se deja por encima del nivel, esto es para cumplir el principio de sellado que se explico previamente.



**Figura 7.** Montaje todo el sistema.

**Fuente:** Autor. Adaptado de la Guía práctica para la construcción de biodigestores.

Como se observa en la figura anterior, se pueden incluir válvulas de seguridad para el control del flujo de biogás; estas válvulas se hacen usando una botella plástica, la cual va a estar tapada, con agua y debe tener dos orificios para que entren las mangueras, usando el mismo principio de sellado del tanque de almacenamiento una manguera esta debajo del nivel del agua y la otra esta sobre el nivel; estas válvulas permiten tener un control visual tanto de la producción

como del flujo de biogás; pues cuando el biogás pasa se puede ver un burbujeo en las botellas.

La operación de un biodigestor casero es muy simple, se debe realizar a diario y es importante entender que existen cuatro fases, las cuales son: llenado, estabilización o arranque, uso y apagado o detener; la primera fase es muy importante para el buen funcionamiento del biodigestor, pues de esta van a depender las bacterias que se generen y la calidad del biogás, el llenado se debe realizar con el biodigestor completamente vacío y limpio, y se usa materia orgánica fresca, se recomienda iniciar con estiércol bovino o porcino y es importante que se realice en un solo momento para garantizar que no entre aire o se altere el micro ambiente que se requiere para la estabilización, creando la atmosfera adecuada para la producción de los microorganismos que trabajaran en el proceso de producción de biogás; la mezcla para el llenado debe tener una textura pastosa, más líquida que dura, no debe presentar grumos o partes secas, se recomienda un 70% de materia orgánica y un 30% de agua; como se dijo anteriormente el tanque de biomasa debe estar inclinado y se debe tapar el ingreso tuvo de ingreso, pero dejando un espacio libre donde se concentre el biogás.

La fase de estabilización o arranque se realiza por un mes donde se debe agregar y sacar materia orgánica en la misma cantidad y dos veces al día, agitando la mezcla durante 10 minutos en los momentos que se agregue y saque la materia orgánica, en esta fase comienza a observar la producción de gas, pero aun no es apto para su uso, pues es muy poco; cuando se observe que el tanque de almacenamiento se encuentre completamente lleno se inicia la fase de uso o operación, en la cual también se debe realizar las actividades anteriores de llenado, vaciado y mezcla de la materia orgánica en un balde de 5 litros, donde la mezcla sea entre líquida y pastosa si se usa estiércol, y en esta fase ya se pueden usar los desechos orgánicos, si se usan estos desechos, la mezcla no debe contener agua y debe ir en trozos muy pequeños para garantizar una descomposición mayor. Si se realiza un buen llenado en la fase de operación la producción de biogás va a ser constante, en esta fase es importante el control y monitoreo de los microorganismos, así como las condiciones internas y externas del biodigestor; para el operario es fácil de identificar por la producción de gas, para un análisis más detallado se cuenta con análisis de laboratorio.

Para tener la producción de biogás, simplemente se debe dejar de alimentar durante dos semanas, esto se hace en épocas donde las familias no se encuentren en la vivienda como en vacaciones, durante las dos semanas se debe supervisar que no se generen fugas, si no se va a usar por más de un mes se

debe realizar un vaciado total del tanque y en el momento de desear usarlo se debe comenzar el proceso con el llenado y estabilización.

Entre las recomendaciones generales para el uso del biodigestor domestico se tienen que: se debe alimentar dos veces al día, y agitar la mezcla, la materia orgánica debe ser la adecuada, no se deben agregar palos, piedra, carne o huesos; el biodigestor debe estar a una temperatura entre 25 y 30 grados centígrados, y no debe estar expuesto a la luz directa del sol; se debe tener un espacio abierto y ventilado, y, no se deben realizar actividades como juegos o asados cerca, pues el biogás es un gas toxico y explosivo y requiere de unos cuidados.

### **Fase III: Experiencias de la comunidad.**

En esta fase se recopilaron las vivencias de la comunidad de acuerdo a las metodologías planteadas por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, se realizaron diferentes talleres tanto para la apropiación de la tecnología como para la difusión del proyecto, se establecieron los lineamientos para el seguimiento del proyecto en base a las experiencias de la comunidad y se obtuvieron las observaciones que cada familia enfrente en el proyecto.



**Imagen 3.** Familia beneficiada del proyecto.

**Fuente:** Autor. Trabajo de campo.

## **II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Para la implementación del proyecto, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, realizo un convenio interinstitucional con la Alcaldía de Jerusalén, y, adicionalmente, se conto con el apoyo de la embajada de Alemania, ya que cuenta con un programa para promover el uso de tecnologías limpias como lo son los biodigestores. Este tipo de acuerdos permitieron superar las barreras para la realización del proyecto, generando recursos y oportunidades de investigación.



En el proceso de instalación y seguimiento de los pilotos, se realizaron algunos cambios a los diseños originales, el más importante fue el cambio del tanque de almacenamiento de gas, pues inicialmente se había propuesto usar una geo membrana o bolsa plástica, pero al estar expuesta a los animales de la zona como pájaros, gallinas, entre otros, se presentaron rupturas en este material; por tal motivo se optó por usar una caneca que funciona como pistón y permite almacenar el gas, este cambio se puede ver en la imagen siguiente.



**Imagen 4.** Biodigestor con tanque de gas en bolsa y en caneca.

**Fuente:** Autor. Trabajo de campo.

En cuanto a las recomendaciones de diseño, es importante que el tanque de almacenamiento de materia orgánica este sobre una superficie dura, de cemento o ladrillo, ya que se pudo ver que en las viviendas donde el tanque estaba sobre tierra, el tanque comenzó a hundirse y perdió la inclinación, afectando la producción de gas, su flujo hacia el tanque de almacenamiento de gas y generando fugas de materia orgánica.

En cuanto al aprendizaje obtenido por la comunidad, siguiendo los lineamientos planteados para el proyecto, se puede en los resultados de las evaluaciones que la comunidad comprendió los conceptos de biogás, el funcionamiento y buen uso del biodigestor; sin embargo en la verificación en campo se ve que falta generar una cultura para realizar las actividades del biodigestor, pues en ocasiones el biodigestor no se alimenta por falta de tiempo o falta de voluntad.

De acuerdo a los dos pilotos iniciales se pudo observar que la producción de gas con una carga constante y un tanque de almacenamiento tipo caneca se tiene gas para 30 minutos de cocción; esta capacidad de almacenamiento se puede ampliar aumentando los tanques de almacenamiento de gas, ya que la generación de gas se da por la recarga continua del biodigestor; por tal motivo se debe concientizar a la población en el uso y apropiación de la tecnología, y que se garantice su correcto funcionamiento.

En el caso del 1er piloto que se realizó en el municipio de Jerusalén, se buscó articular esfuerzos en una vivienda familiar que cordialmente se prestó para el ejercicio, para con la ayuda de la familia Zamudio, se ha buscado aplicar algunos

aportes sostenibles a la vivienda, organización del predio, manejo de aguas lluvias, planta casera de biogás, entre otras.

El capital social es también articulador del desarrollo sostenible y abarca tres dimensiones: los valores éticos dominantes en una sociedad, su capacidad de asociatividad, el grado de confianza.

## **CONCLUSIONES**

El desarrollo sostenible no es un concepto exclusivamente ambiental, sino que es una relación de equilibrios entre lo ambiental, lo económico y lo social, por lo tanto, tiene un factor humano asociado de mucha importancia, ya que dicho equilibrio solo puede ser resultado de la solidaridad y el compromiso de las poblaciones para generar cambios profundos en sus modelos de vida.

El proceso de un desarrollo sostenible tiene que ver con la creatividad y con el cambio respecto al actual modelo de consumo y producción. Consecuentemente tiene también que ver con la esencia de la política y por lo tanto tiene un importante contenido político. La erradicación de la pobreza, el cambio de los modelos de producción y consumo y la protección y administración de la base de recursos naturales para el desarrollo económico y social son objetivos y desafíos del desarrollo sostenible.

Colombia está todavía muy lejos en cuanto a la legislación y reglamentación de estas iniciativas. Actualmente, los esfuerzos a la producción de biometano y de la red de alimentación se realizan sobre la base de las instituciones públicas de Medellín, en el sentido de primeras normas para los sistemas de distribución; las inversiones son pequeñas y privadas.

Para futuros montajes se debe hacer un estudio previo del lugar donde se va a instalar el biodigestor, ya que es fundamental para el arranque que la comunidad cuente con los recursos de materia orgánica para la fase de llenado y estabilización, así como las condiciones de tiempo que implica el manejo del biodigestor.

Este tipo de energía es viable técnicamente para zonas rurales no interconectadas, donde la comunidad rural es dispersa y alejada de las redes de gas convencional, donde se dificulta el acceso a la parte rural o se tienen restricciones de tipo ambiental, se debe considerar la competitividad del Biogás comparada con otros energéticos.

Para establecer el recurso energético del biogás, se debe tener en cuenta inicialmente la necesidad latente del recurso energético, tener en cuenta que las aplicaciones son de producción de biogás menor, ya que el tiempo de cocción

para este modelo es de 1 hora. Consultar los planes Municipales para la implementación de este tipo de tecnología y el grado de adaptabilidad de la población.

Los sistemas de biogás pueden ser una estrategia positiva que ayude al desarrollo de las comunidades rurales a las cuales es muy difícil prestar un servicio eficiente de gas natural; este sistema de energía requiere de inversiones que pueden ser asumidas por sectores económicos fuertes como alcaldías municipales, ONGS, cooperación internacional y empresarios.

## REFERENCIAS

- [1] Naciones Unidas. (2016). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Naciones Unidas.
- [2] Sostenibilidad para todos. *La ciudad sostenible*. En: <https://www.sostenibilidad.com/construccion-y-urbanismo/la-ciudad-sostenible/>
- [3-4] Franco González, Néstor Guillermo. (2016). *Plan de Acción Cuatrienal 2016 – 2019*. Bogotá, Colombia. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR.
- [5-7] Alcaldía de Jerusalén, Cundinamarca. (2016). *Plan de Desarrollo “Progreso e Inclusión para Todos 2016-2019”*. En: <http://www.jerusalen-cundinamarca.gov.co/>
- [8,10] Lutz, Wolfgang (2003). *“Barreras a la penetración de los usos sostenibles de la energía”*. Presentado en *Reformas del sector energético, desafíos regulatorios y desarrollo sustentable en Europa y América Latina*. Proyecto CEPAL Comisión Europea
- [9] Altomonte, Hugo. Covlenello, Manllo, Lutz, Wolfgang. (2003). *Energías renovables y eficiencia energética en America Latina y el Caribe. Restricciones y perspectivas*. Santiago de Chile, Naciones Unidas: CEPAL.
- [11-12] Dirección de Laboratorio e Innovación Ambiental. (2017). *Metodología para la apropiación de la tecnología para proyectos IDi*. Mosquera, Cundinamarca. Colombia. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR
- [13] Procesos Biológicos: La digestión anaerobia y el compostaje. Elena Campos, Xavier Elías y Xavier Flotats. Ediciones Díaz Santos. Madrid. 2012.
- [14] Rohstoffe, F.N. (2010). *Guía sobre el Biogas. Desde la producción hasta su uso*. Gulzow, Alemania: FNR, Abt. Öffentlichkeitsarbeit.
- [15] Dirección de Laboratorio e Innovación Ambiental. (2017). *Manual de monitoreo, mantenimiento y seguimiento biodigestores*. Mosquera, Cundinamarca. Colombia. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR.
- [16] Dirección de Laboratorio e Innovación Ambiental. (2017). *Guía práctica para la construcción de biodigestores*. Mosquera, Cundinamarca. Colombia. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR.